



①⑨ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ Patentschrift  
⑩ DE 42 31 989 C 1

⑤① Int. Cl. 5:  
**G 01 B 21/30**  
G 01 B 7/14  
G 01 B 7/03  
G 01 D 5/244  
G 12 B 17/02  
B 23 Q 17/20

②① Aktenzeichen: P 42 31 989.7-52  
②② Anmeldetag: 24. 9. 92  
④③ Offenlegungstag: —  
④⑤ Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 20. 1. 94

DE 42 31 989 C 1

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

③⑩ Innere Priorität: ③② ③③ ③①  
13.08.92 DE 42 26 794.3

⑦③ Patentinhaber:  
Datron-Electronic GmbH, 64367 Mühlthal, DE

⑦④ Vertreter:  
Otte, P., Dipl.-Ing., Pat.-Anw., 71229 Leonberg

⑦② Erfinder:  
Becker, Manfred, 6105 Ober-Ramstadt, DE; Reck,  
Matthias, 6109 Mühlthal, DE

⑤⑥ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit.  
in Betracht gezogene Druckschriften:

DE	38 42 032 C1
DE	39 06 408 A1
DE	38 30 806 A1
DE	38 28 713 A1
DE	38 26 581 A1
DE	38 08 548 A1
DE	37 40 657 A1

⑤④ Abtastvorrichtung für konturierte Oberflächen

⑤⑦ Die Erfindung betrifft eine Abtastvorrichtung zum berührenden Abtasten einer konturierten Oberfläche. Eine stabförmige Meßsonde, die in Z-Richtung mittels eines Linearlagers linear beweglich geführt ist, ist an ihrem, dem freien Ende gegenüberliegenden Ende mittels einer Aufhängung derart beweglich mit dem Linearlager verbunden, daß sie im unbelasteten Zustand durch Rückstellkräfte in einer Lage gehalten wird, in der ihre Längsachse in Richtung der Z-Achse verläuft, und daß sie bei einem Abtastvorgang senkrecht zu ihrer Z-Richtung verlaufenden Längsachse in X- und Y-Richtung auslenkbar ist.

DE 42 31 989 C 1

## Stand der Technik

Die Erfindung betrifft eine Abtastvorrichtung zum berührenden Abtasten einer konturierten Oberfläche gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

Eine gattungsgemäße Abtastvorrichtung ist beispielsweise aus der DE 37 40 657 A1 bekannt und dient zum Erstellen digitaler Datensätze, welche die Konturen von dreidimensionalen Gebilden bzw. Modellen oder Oberflächen beschreiben und später beispielsweise zum programmgesteuerten Betrieb einer Fräsmaschine zur Herstellung entsprechender Werkstücke bzw. Oberflächen verwendet werden können.

Abtastvorrichtungen der betrachteten Art können auch zum Bestimmen der Lage eines Werkstücks auf einer Werkzeugmaschine und zum anschließenden Positionieren des Werkstücks anhand der bei der Abtastung gewonnenen Daten dienen. Weiterhin besteht die Möglichkeit, anhand der Positionsdaten, die mit Hilfe einer Abtastvorrichtung gewonnen werden, die Maßhaltigkeit eines bearbeiteten Werkstücks zu prüfen und Werkzeug- und Maschinenabweichungen zu erkennen und ggf. zu korrigieren.

Bei den bekannten Abtastvorrichtungen ist die Meßsonde mittels dreier voneinander unabhängiger, die Meßsonde in jeweils einer Koordinatenrichtung spielfrei führenden Linearlageranordnungen gehalten, wobei für jede Koordinatenrichtung ein eigener Linearwandler, beispielsweise in Form einer der bekannten Längenmeßeinrichtungen, vorgesehen ist, um für die betreffende Koordinatenrichtung auswertbare Positionssignale zu erzeugen.

Die bekannten Abtastvorrichtungen sind einerseits sehr genau und arbeiten mit einer Auflösung im Bereich von etwa 1 µm. Andererseits sind die bekannten Abtastvorrichtungen im Hinblick auf den komplizierten Aufbau ihres Meßsystems aber auch sehr teuer und empfindlich, insbesondere auch hinsichtlich der erforderlichen Auswerteinrichtungen, mit denen bei der angegebenen, hohen Abtastgenauigkeit, beispielsweise beim spurenweisen Abtasten einer Freiformfläche, bei zeitlich befriedigender Vorschubgeschwindigkeit der Meßsonde ungeheure Datenmengen verarbeitet werden müssen.

Ausgehend vom Stand der Technik liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, eine hinsichtlich ihres Meßsystems vereinfachte und damit billigere, aber dennoch mit guter Genauigkeit arbeitende Abtastvorrichtung anzugeben.

Diese Aufgabe wird bei einer gattungsgemäßen Abtastvorrichtung gemäß der Erfindung durch die Merkmale des kennzeichnenden Teils des Patentanspruchs 1 gelöst.

Es ist ein besonderer Vorteil der erfindungsgemäßen Abtastvorrichtung, daß ihr Meßsystem mit der Meßsonde und den zugehörigen Wandlern relativ klein und preiswert aufgebaut werden kann, da die bisher üblichen Linearlageranordnungen für die X-Richtung und die Y-Richtung durch eine einfache Meßsondenaufhängung in Form einer einseitig eingespannten Biegefeder ersetzt werden, die selbst die erforderlichen Rückstellkräfte erzeugt.

Vorzugsweise sind die Wandler für die Erzeugung der Positionssignale für die X- und die Y-Richtung erfindungsgemäß als berührungslos arbeitende X-, Y-Wand-

ler ausgebildet, insbesondere als nach dem Wirbelstromverfahren arbeitende Wandler oder auch als Wandler, welche, ähnlich wie induktive Näherungsschalter, auf Induktivitätsänderungen bzw. Kapazitätsänderungen in Abhängigkeit von einer Auslenkung der Meßsonde in X-Richtung bzw. Y-Richtung ansprechen.

In weiterer Ausgestaltung der Erfindung ist es vorteilhaft, wenn einerseits die Meßsonde im Bereich der X-, Y-Wandler und andererseits die X-, Y-Wandler derart ausgebildet sind, daß die von diesen Wandlern erzeugten Positionssignale jeweils linear mit der Position bzw. der Auslenkung der Meßsonde in X-Richtung und in Y-Richtung verknüpft sind.

Als vorteilhaft hat es sich dabei erwiesen, wenn die X- und Y-Wandler zueinander senkrecht, der Meßsonde zugewandte Sensorflächen aufweisen und wenn die Meßsonde im Bereich der Sensorflächen zu diesen parallele, zueinander senkrechte Außenflächen aufweist.

Vorzugsweise weist die Meßsonde im Bereich der X-, Y-Wandler einen rechteckigen Querschnitt und paarweise parallel zueinander verlaufende Außenflächen auf, während der X-Wandler und der Y-Wandler jeweils zwei Meßsysteme aufweisen, die einander und den zugeordneten Außenflächen der Meßsonde paarweise gegenüberliegen. Auf diese Weise ergibt sich nämlich der Vorteil, daß die Positionssignale für die X-Koordinate und die Positionssignale für die Y-Koordinate völlig unabhängig voneinander sind, wobei die jeweils zwei Meßsysteme pro Koordinatenrichtung bei einer Auslenkung der Meßsonde in dieser Richtung gegensinnig beeinflusst werden, wodurch eine Reihe von Kompensationseffekten erreicht wird, auf die weiter hinten noch näher eingegangen werden wird.

Bezüglich des konstruktiven Aufbaus der Abtastvorrichtung hat es sich in Ausgestaltung der Erfindung als besonders vorteilhaft erwiesen, wenn die Aufhängung für die Meßsonde und die Wandler für die Meßsondenbewegungen in den drei zueinander senkrechten Koordinaten X, Y und Z an einem gemeinsamen Träger befestigt sind, welcher mit Hilfe des für die Z-Achse vorgesehenen Linearlagers längs einer Schiene in Z-Richtung verfahrbar ist, daß das gesamte Meßsystem in eine Ruhelage anhebbar und in eine Arbeitsposition absenkbar ist.

Für das Anheben und Absenken des Meßsystems ist dabei vorzugsweise eine eigene Hubvorrichtung, insbesondere eine Hubvorrichtung mit einem Spindeltrieb, vorgesehen, die insbesondere derart lösbar mit dem schlittenförmigen Träger gekoppelt ist, daß dieser für die Durchführung einer Abtastung bzw. Messung in eine durch einen Anschlag definierte Nullstellung absenkbar ist, in der er von der Hubvorrichtung vollständig entkoppelt ist.

Weitere Einzelheiten und Vorteile der Erfindung werden nachstehend anhand von Zeichnungen noch näher erläutert und/oder sind Gegenstand der Ansprüche. In der Zeichnung zeigt

Fig. 1 eine schematische, perspektivische Darstellung des Meßsystems einer Abtastvorrichtung gemäß der Erfindung;

Fig. 2 eine schematische Detaildarstellung des Meßsystems gemäß Fig. 1 in seiner Arbeitsposition;

Fig. 3. eine schematische Darstellung einer X-, Y-Wandleranordnung für ein Meßsystem gemäß Fig. 1 und 2;

Fig. 4 ein schematisches Blockschaltbild zur weiteren Erläuterung der Funktion der Wandleranordnung gemäß Fig. 3;

Fig. 5 eine schematische Darstellung zur Erläuterung der Wirkung einer Auslenkung der Meßsonde in X- oder Y-Richtung auf die Größe des in Z-Richtung gemessenen Positionswertes;

Fig. 6a—g schematische Darstellungen zur Erläuterung des Arbeitsprinzips unterschiedlicher Typen von X-, Y-Wandlern;

Fig. 7 ein schematisches Blockschaltbild zur Erläuterung der Funktion einer gegenüber der Wandleranordnung gemäß Fig. 3 abgewandelten Wandleranordnung; und

Fig. 8 ein Impulsdigramm zur weiteren Erläuterung der Funktion der in Fig. 7 gezeigten Schaltung.

Im einzelnen zeigt Fig. 1 ein erfindungsgemäßes Meßsystem, bei dem im Inneren eines äußeren Schutzgehäuses 10 eine feststehende Führungsschiene 12 befestigt ist. Längs dieser Schiene 12 ist ein kastenförmiger Träger 14 mittels spielfreier Linearkugellager 16 nach Art eines Schlittens in Richtung der senkrechten Koordinate, d. h. in Z-Richtung, verfahrbar. An einer oberen Stirn- bzw. Endfläche 14a ist eine stabförmige Meßsonde 18 mittels einer Aufhängung befestigt, die beim Ausführungsbeispiel durch eine stabförmige Biegefeder 20 gebildet wird. Die Biegefeder 20 gestattet eine Auslenkung der Meßsonde 18 quer zu deren in Z-Richtung verlaufender Längsachse, d. h. in X-Richtung und Y-Richtung. Die Meßsonde 18 besitzt in ihrem Hauptteil einen rechteckigen bzw. quadratischen Querschnitt und verjüngt sich an ihrem unteren Ende zu einem Stab, an dem eine Abtastkugel 18a vorgesehen ist.

Das Meßsystem ist in Fig. 1 in seiner Ruhestellung gezeigt, in der sich seine empfindlichen Komponenten alle im Inneren des Schutzgehäuses 10 befinden. Das Absenken des Meßsystems in seiner Arbeitsstellung und das Zurückführen desselben in seine in Fig. 1 gezeigte Ruhestellung erfolgen mittels einer Hubvorrichtung 22, die beim Ausführungsbeispiel durch einen Spindeltrieb realisiert ist, welche eine in Z-Richtung bzw. vertikal verlaufende Schnecke 24 aufweist, die an ihrem unteren Ende mittels eines Kugellagers 26 drehbar gelagert ist und die an ihrem gegenüberliegenden, oberen Ende von einem umsteuerbaren Motor 28 zu einer Drehbewegung antreibbar ist. Auf der Spindel 24 sitzt ein nach Art einer Spindelmutter ausgebildeter Hubarm 30, der beispielsweise durch ein Langloch (nicht gezeigt) in der Wand des Schutzgehäuses 10 gegen eine Drehung gesichert ist und der bei einem Hubvorgang und bei in seiner Ruhestellung befindlichem Meßsystem an der Unterseite einer unteren Endfläche 14b des Trägers 14 anliegt. Beim Absenken des Trägers 14 in die Arbeitsstellung des Meßsystems gelangt die untere Endfläche in Kontakt mit einem als Anschlag dienenden, federnden Druckstück 32, welches die Nullstellung des Trägers 14 und damit der Meßsonde 18 in Z-Richtung definiert.

Entsprechende federnde Druckstücke (nicht gezeigt) sind vorzugsweise am Boden des Trägers 14 montiert, um die Auslenkbewegungen der Meßsonde 18 in X-Richtung und Y-Richtung zu begrenzen und ggf. Schwingungen der Meßsonde 18 zu dämpfen.

Die Hubvorrichtung 22 ist so ausgebildet, daß der Hubarm 30 nach dem Auftreffen des Trägers 14 auf das federnde Druckstück 32 noch etwas weiter abgesenkt wird, so daß der Träger 14 vollständig von der Hubvorrichtung 22 entkoppelt wird.

An einer senkrechten Wandfläche 14c ist ein Linearpotentiometer 34 befestigt, dessen Betätigungselement über die untere Endfläche 14b des Trägers 14 vorsteht und an diesem überstehenden Ende einen Magneten 36

trägt, der an einem Bereich 38 aus magnetischem oder magnetisierbarem Material am Boden des Schutzgehäuses 10 magnetisch lösbar festgelegt ist, wenn sich das Meßsystem in seiner Arbeitsstellung befindet. Das Linearpotentiometer 34 und dessen Betätigungselement bzw. die damit zusammenwirkende Magnetanordnung 36, 38 werden dabei elektronisch mittels eines Trimpotentiometers derart justiert, daß sich bei unbelasteter Meßsonde am Ausgang des Potentiometers 34 das Positionssignal NULL ergibt.

Bei dem betrachteten Meßsystem stellt das Linearpotentiometer den Signalwandler für die Bewegungen der Meßsonde 18 in Z-Richtung dar. Die Bewegungen der Meßsonde 18 in Richtung der X-Koordinate und der Y-Koordinate — bei diesen Bewegungen handelt es sich um relativ kleine Auslenkbewegungen der Meßsonde 18 bezüglich ihrer in Z-Richtung verlaufenden Längsachse — werden mit Hilfe eines X-Wandlers bzw. eines Y-Wandlers erfaßt, wobei jeder dieser Wandler jeweils zwei separate Meßeinheiten aufweist, die paarweise auf gegenüberliegenden Seiten, genauer gesagt, angrenzend an einander gegenüberliegende Seitenflächen der Meßsonde 18, angeordnet sind. Im Interesse einer verbesserten Übersichtlichkeit der schematischen Darstellung gemäß Fig. 1 sind dort von dem X-Wandler und dem Y-Wandler lediglich die E-förmigen Kerne 40 der einzelnen Meßspulen gezeigt. Auf den Aufbau der X-, Y-Wandler wird weiter unten noch näher eingegangen.

Fig. 2 zeigt eine stark schematisierte Darstellung des Meßsystems gemäß Fig. 1 in seiner Arbeitsstellung. Man erkennt, daß der Träger 14 mit der Unterseite seines Bodens auf dem federnden Druckstück 32 aufliegt und daß der Magnet 36 des Betätigungselementes des Linearpotentiometers 34 magnetisch am Boden des Schutzgehäuses festgelegt ist. Der Hubarm 30 ist in seiner unteren Endstellung unterhalb des Trägers 14 mit gestrichelten Linien angedeutet. Die Meßsonde 18 durchgreift eine dafür vorgesehene Öffnung 42 im Boden des Schutzgehäuses 10, so daß die Meßsonde 18 mit der an ihrem freien Ende vorgesehenen Kugel 18a eine abzutastende, konturierte Oberfläche frei erfassen kann.

Fig. 3 zeigt in Form eines schematischen Prinzipschaltbildes die Anordnung und Ausbildung des X-Wandlers und des Y-Wandlers bei Messung der Auslenkung der Meßsonde 18 in X-Richtung bzw. Y-Richtung, und zwar für ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel, bei dem jeder Wandler jeweils zwei Meßeinheiten mit jeweils einer auf einen Ferritkern 40 gewickelten Spule 42, 42' und 44, 44' aufweist. Die Spulen 42, 42' mit ihren zugehörigen Ferritkernen 40 bilden dabei den X-Wandler 50, während die Spulen 44, 44' mit ihren Ferritkernen 40 den Y-Wandler 52 bilden. Die Spulen 42, 42' und die Spulen 44, 44' sind jeweils in Reihe geschaltet und werden vom Ausgang eines Oszillators mit einer hochfrequenten Wechsellspannung gespeist, die beispielsweise in einem Frequenzbereich von 20 bis 100 kHz liegen kann. Das Meß- oder Positionssignal für die X-Richtung steht dabei an einem Wandlerausgang A zur Verfügung, der an den Verbindungspunkt der beiden in Reihe geschalteten Spulen 42, 42' angeschlossen ist. Das Meß- bzw. Positionssignal für die Y-Richtung steht an einem Ausgang B zur Verfügung, der an den gemeinsamen Verbindungspunkt der Spulen 44, 44' angeschlossen ist. Im übrigen sind die Reihenschaltungen der beiden Spulenpaare 42, 42'; 44, 44' parallel zueinander zwischen dem Ausgang des Oszillators OSZ und Bezugspotential geschaltet.

Bei den als Ausführungsbeispiel betrachteten Wand-

lern 50, 52 handelt es sich um Wandler, die nach dem Wirbelstrom-Abstandsverfahren arbeiten, die auf dem folgenden Prinzip beruhen:

Der hochfrequente Wechselstrom in einer Spule, speziell in einer mit einem Magnetkern bzw. einem Ferritkern versehenen Spule, führt zu einem hochfrequenten, magnetischen Wechselfeld, welches bei geeigneter Ausgestaltung des Kerns beispielsweise als Topfkern oder, wie in Fig. 1 angedeutet, als E-förmigem Kern auf der offenen Seite des Kerns im Bereich einer sogenannten Sensorfläche konzentriert ist. Wenn dieser Sensorfläche ein Element aus elektrisch leitendem, nicht magnetisierbarem Material, wie z. B. Messing oder auch Aluminium, gegenüberliegt, dann werden in diesem Material, speziell in einem oberflächennahen Bereich, durch das magnetische Wechselfeld elektrische Wirbelströme hervorgerufen, die ihrerseits ein magnetisches Gegenfeld erzeugen, welches dem Magnetfeld der Spule entgegenwirkt, wodurch sich die Induktivität der Spule bzw. der Kern/Spulen-Anordnung scheinbar verringert und damit auch deren Impedanz, und zwar in Abhängigkeit vom Abstand des elektrisch leitenden Materials von der Sensorfläche.

In dem als Ausführungsbeispiel betrachteten Fall gemäß Fig. 3 bilden die beiden Spulen jedes der Wandler 50, 52 jeweils einen Spannungsteiler, dessen Symmetrie durch die Auslenkung der in diesem Fall aus einem elektrisch leitenden, unmagnetischen Material bestehenden Meßsonde 18 gestört wird. Beispielsweise führt eine Auslenkung der Meßsonde 18 in +X-Richtung — d. h. in Fig. 3 nach rechts — unter der Voraussetzung, daß über den beiden Spulen 42, 42' zunächst dieselbe Spannung abfällt, dazu, daß die Spannung über der Spule 42' kleiner und die Spannung über der Spule 42 größer wird. Es ergibt sich also ein von dem ursprünglichen Spannungs-Übersetzungsverhältnis von 1:1 abweichendes Spannungs-Übersetzungsverhältnis und eine entsprechende Spannungsänderung am Ausgang A, wo für den betrachteten Fall nunmehr eine höhere Spannung ansteht. In entsprechender Weise führt eine Auslenkung der Meßsonde 18 in -X-Richtung — in Fig. 3 nach links — zu einer kleineren Spannung über der Spule 44 und damit zu einer niedrigeren Spannung am Signalausgang A. Eine Auslenkung der Meßsonde 18 in Y-Richtung hat entsprechende Änderungen der Spannung am Ausgang B des Y-Wandlers 52 zur Folge. Durch die ebenen, paarweise rechtwinklig zueinander verlaufenden Außenflächen der Meßsonde 18 ist dabei außerdem — anders als beispielsweise bei einem runden Meßstab mit gekrümmter Oberfläche — im Rahmen der bei dem Meßsystem zulässigen Auslenkbewegungen eine völlige Unabhängigkeit der Meß- bzw. Positionssignale für die X-Richtung und die Y-Richtung gewährleistet.

Gemäß Fig. 4 der Zeichnung wird ausgehend von dem anhand von Fig. 3 erläuterten Meßprinzip so vorgegangen, daß an der Reihenschaltung der Wandler spulen 42, 42' einerseits die Oszillatorspannung  $U_{os}$  und andererseits die Spannung  $U'_{os}$  anliegt, wobei  $U'_{os} = 0,6 \times U_{os}$  gilt ( $U_{os}$  ist dabei die invertierte Oszillatorausgangsspannung).

Das Signal vom Abgriff zwischen den beiden Spulen 42, 42', d. h. das Signal vom Wandlerausgang A wird dem einen Eingang eines Operationsverstärkers 54 zugeführt, dessen anderer Eingang an Bezugspotential liegt. Das Ausgangssignal des Operationsverstärkers 54 wird mit Hilfe eines Gleichrichters 56 gleichgerichtet. Die wellige Gleichspannung vom Ausgang des Gleichrichters 56 wird durch einen Tießpaß 58 geglättet und

dem einen Eingang eines weiteren Operationsverstärkers 60 zugeführt, dessen zweitem Eingang eine mit Hilfe eines Potentiometers einstellbare Bezugsspannung zugeführt wird und der eine analoge Ausgangsspannung  $U_a$  liefert, deren Pegel durch Einstellen der Bezugsspannung an dem Potentiometer 62 auf einen für die weitere Verarbeitung der Spannung  $U_a$ , insbesondere für die Digitalisierung derselben, geeigneten Pegel gebracht werden kann.

Die mit Hilfe der Wandler- bzw. Meßeinrichtungen gemäß Fig. 3 und 4 gewonnenen analogen Spannungen — die Spannung vom Wandlerausgang B des Wandlers 52 kann in ähnlicher Weise aufbereitet werden, wie dies vorstehend für die Spannung vom Wandlerausgang A erläutert wurde — sind trotz des relativ einfachen Aufbaus des erfindungsgemäßen Meßsystems bezüglich der Genauigkeit, mit der die X-Position und die Y-Position erfaßt werden, relativ genau, wie dies nachstehend anhand von Fig. 5 erläutert wird.

In Fig. 5 bezeichnet die Strecke  $l$  die Länge der Meßsonde 18 in Z-Richtung. Wenn nun die Meßsonde 18 bzw. deren die Meßkugel 18a tragendes freies Ende in X-Richtung um die Strecke  $\Delta x$  ausgelenkt wird, was einem Auslenkwinkel  $\alpha$  entspricht, dann ergibt sich für die Z-Richtung eine Abweichung  $\Delta l$ . Unter der Voraussetzung, daß die Länge  $l$  der Meßsonde 18 = 200 mm beträgt und daß die Auslenkung  $\Delta x$  in X-Richtung 2 mm beträgt — diese Werte sind für ein in der Praxis verwirklichtes Meßsystem realistisch — ergibt die nachfolgende Berechnung, daß der Meßfehler bzw. die Abweichung  $\Delta l$  nur etwa 1/100 mm beträgt:

$$\alpha \approx \arcsin \frac{\Delta x}{l} \approx 0,57^\circ$$

$$l = 200 \text{ mm} \quad \Delta x = 2 \text{ mm}$$

$$\Delta l = l (1 - \cos \alpha) \approx 1/100 \text{ mm}$$

Die Meßgenauigkeit der erfindungsgemäßen Meßvorrichtung liegt damit in einem für viele Anwendungen brauchbaren Genauigkeitsbereich, ohne daß ein übermäßiger technischer Aufwand betrieben werden müßte, wie dies bei den bekannten, mit höherer Auflösung arbeitenden Abtastvorrichtung der Fall ist.

Während vorstehend anhand von Fig. 3 und 4 als bevorzugte Wandleranordnung für die X-, Y-Wandler einer erfindungsgemäßen Abtastvorrichtung Wandleranordnungen beschrieben wurden, die nach dem Wirbelstromverfahren arbeiten, sollen nachstehend anhand von Fig. 6 noch weitere Möglichkeiten für die Ausgestaltung der X-, Y-Wandler erläutert werden.

Zunächst ist in Fig. 6a noch einmal schematisch ein nach den Wirbelstromverfahren arbeitendes Wandlerpaar mit den Magnetkernen 40 und den vier Spulen 42, 42'; 44, 44' dargestellt. Zu dieser Wandlervariante ist in Fig. 6b ein Teilstück der einen rechteckigen Querschnitt aufweisenden Meßsonde 18 gezeigt, welcher auf (jeweils) zwei einander gegenüberliegenden Seiten Magnetkerne 40, insbesondere Ferritkerne, in Form von E-Kernen gegenüberliegen, wobei die offene Seite der E-Kerne 40, die ggf. durch Topfkern ersetzt werden können, den benachbarten Flächen der Meßsonde 18 gegenüberliegt und die "Sensorfläche" der betreffenden Wandlereinheit bilden. Gemäß Fig. 6c bis 6e können Wirbelstromwandler gemäß Fig. 6a und 6b durch induktive Wandler ersetzt werden, wobei es sich als vorteil-

haft erwiesen hat, wenn die Wandler­spulen 42, 42'; 44, 44' ortsfest an dem Träger 14 montiert werden, während die zugehörigen Kerne 40 in Form runder Ferritstäbe in zugeordnete Bohrungen der Meßsonde 18 eingesetzt sind. Die Kerne 40 aber auch, wie dies in Fig. 6e schematisch angedeutet ist, zusammen mit den Spulen 42, 42'; 44, 44' ortsfest gegenüber der in X- und Y-Richtung auslenkbaren Meßsonde 18 montiert werden.

Für die mit den Wandlern gemäß Fig. 6c bis 6e erfaßten Induktivitätsänderungen, die die Verwendung einer Meßsonde 18 aus magnetisierbarem Material zur Voraussetzung haben, können gemäß einer abgewandelten Ausführungsform auch Differentialtransformatoren verwendet werden.

Weiterhin besteht gemäß Fig. 6f und 6g die Möglichkeit zum Erfassen der Auslenkung der Meßsonde 18 kapazitive Wandler zu verwenden, die nach dem Prinzip eines "Differentialkondensators" arbeiten, wobei jeweils der eine Belag, der in Fig. 6f gezeigten Kondensatoren C<sub>1</sub> bis C<sub>4</sub> durch eine ortsfest montierte Metallplatte gebildet wird, während der andere Belag durch die gegenüberliegende Oberfläche der Meßsonde 18 bzw. einen dort vorgesehenen Kondensatorbelag gebildet wird, wobei sich der Kapazitätswert der auf diese Weise gebildeten Kondensatoren C<sub>1</sub> bis C<sub>4</sub> in Abhängigkeit von der Position zwischen den Kondensatorbelägen ändert, und wobei, ähnlich wie bei den Wandlern gemäß Fig. 3 wieder jeweils zwei einander gegenüberliegende Kondensatoren C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub> bzw. C<sub>3</sub>, C<sub>4</sub> in Reihe geschaltet werden können, wie dies in Fig. 6g angedeutet ist. Bezüglich der Ausgestaltung der Wandler für die X-Koordinate und die Y-Koordinate bestehen also verschiedene Möglichkeiten, ohne daß die vorstehend angesprochenen Möglichkeiten als abschließend angesehen werden sollten.

Abweichend von dem zuvor erläuterten Ausführungsbeispiel kann insbesondere die Differentialkondensatoranordnung auch in der Weise realisiert werden, daß jeweils beide Beläge der Kondensatoren C<sub>1</sub> bis C<sub>4</sub> ortsfest angeordnet werden und daß statt dessen das in Fig. 6f gestrichelt eingezeichnete Dielektrikum in X- bzw. Y-Richtung bewegt wird.

Weiterhin ist anzumerken, daß im Prinzip auch die Wandler 34, 50, 52 ortsfest angeordnet werden können, z. B. an der Unterseite des Schutzgehäuses 10, was allerdings mit dem Nachteil verbunden wäre, daß sich eine Bewegung des Trägers 14 in Z-Richtung geringfügig auf die für die Bewegungen in den beiden anderen Koordinatenrichtungen X und Y ermittelten Meßsignale auswirken würde.

Gemäß Fig. 7 besteht, ausgehend von der in Fig. 3 schematisch dargestellten Anordnung und Ausbildung des X-Wandlers und des Y-Wandlers, die Möglichkeit, jeden der beiden induktiven Wegaufnehmer für die X-Koordinate und die Y-Koordinate bei im Prinzip gleichem Wandleraufbau als induktiven Wegaufnehmer zu betreiben, dessen Spulen anstelle eines Oszillatorausgangssignals eine mit Hilfe eines geeigneten Taktgenerators 64 erzeugte Folge von Einzelimpulsen zugeführt wird. Im einzelnen erzeugt der Taktgenerator 64 an einem ersten Ausgang 66, der dem Oszillatoranschluß der Schaltung in Fig. 3 entspricht, eine erste Impulsfolge mit Rechteckimpulsen vorgegebener Impulsbreite, die den beiden in Serie geschalteten Spulen 42, 42' zugeführt werden. Der Mittelabgriff zwischen den beiden Spulen 42, 42' ist mit dem einen Eingang eines Operationsverstärkers 54' verbunden, der dem Operationsverstärker 54 in Fig. 4 entspricht, dessen Referenzspan-

nung an seinem zweiten Eingang jedoch mit Hilfe eines Potentiometers 62' einstellbar ist, welches, ähnlich wie das Potentiometer 62 in Fig. 4, der Einstellung des Pegels der Ausgangsspannung U<sub>a</sub> dient. Der Ausgang des Verstärkers 54' ist mit dem Eingang einer Abtast/Halte-Schaltung (Sample & Hold-Schaltung) 68 verbunden, an deren Ausgang die analoge Ausgangsspannung U<sub>a</sub> zur Verfügung steht. Die zeitliche Steuerung der Abtastvorgänge der Schaltung 68 erfolgt über einen zweiten Ausgang 70 des Taktgebers 64. An diesem zweiten Ausgang 70 liefert der Taktgenerator 64 eine zweite Impulsfolge, welche dieselbe Impulsfolgefrequenz aufweist wie die Impulsfolge am Ausgang 66, wobei die Einzelimpulse der Impulsfolge am Ausgang 70 jedoch jeweils kürzer sind als die Impulse am Ausgang 66 und ein innerhalb der Impulsbreite der Impulse am Ausgang 66 liegendes Zeitfenster definieren. Dabei ist dieses Zeitfenster so gewählt, daß Einschwingvorgänge zum Zeitpunkt der Abtastung bereits abgeklungen sind und daß die Abtastung auf jeden Fall beendet ist, ehe die Rückflanke eines Einzelimpulses vom Ausgang 66 erscheint. Der Zusammenhang zwischen den Impulsfolgen an den Ausgängen 66 und 70 des Taktgenerators 64 ist in Fig. 8 dargestellt, wo die Kurve a den Spannungsverlauf am Ausgang 66 und die Kurve b den Spannungsverlauf am Ausgang 70 des Taktgenerators zeigt.

In der Praxis kann die Impulsfolgefrequenz der beiden Impulsfolgen a, b einer Periodendauer von etwa 1 ms entsprechen, wobei die Dauer der Einzelimpulse der Impulsfolge a beispielsweise etwa 5 µs betragen kann. In diesem Fall ist die Vorderflanke der Einzelimpulse der Impulsfolge b gegenüber der Vorderflanke der Einzelimpulse der Impulsfolge a beispielsweise um 2 µs verzögert, während ihre Rückflanke, gerechnet vom Zeitpunkt des Auftretens der Vorderflanke des Impulses der Impulsfolge a, um etwa 4 µs verzögert sein kann, so daß die Rückflanke eines Abtastimpulses der Impulsfolge b etwa 1 µs vor der Rückflanke des zugeordneten Spulenimpulses der Impulsfolge a auftritt.

Aufgrund der relativ kurzen Spulenimpulse werden bei der betrachteten Ausgestaltung der Wandleranordnung nur die induktiven Anteile des aus der Serienschaltung der beiden Spulen 42, 42' gebildeten Spannungsteilers wirksam und nicht die ohmschen Anteile der Spulenwicklungen. Hierdurch erhält man wieder ein wegproportionales Ausgangssignal U<sub>a</sub>, welches allerdings in Form von einzelnen Impulsen vorliegt, aus denen mit Hilfe der Abtast/Haltespannung als Ausgangsspannung U<sub>a</sub> erhalten wird. Mit Hilfe der Schaltungsvariante gemäß Fig. 7 lassen sich der Bauteileaufwand und damit die Kosten und der Platzbedarf stark reduzieren. Weiterhin verringert sich auch der Stromverbrauch der Wandleranordnung. Dabei versteht es sich, daß diese Schaltungsvariante auch für den Y-Wandler mit den Spulen 44, 44' realisiert werden kann.

Während bei dem betrachteten Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 1 und 2 für die Durchführung der Messungen eine magnetische Festlegung des Betätigungselementes des Linearpotentiometers 34 erfolgt, besteht in Ausgestaltung der Erfindung ferner die Möglichkeit, das Betätigungselement des Linearpotentiometers 34 mittels einer Schraubenfeder oder dergleichen in eine definierte Ausgangslage bezüglich des Gehäuses des Linearpotentiometers zu bringen. Dabei wird eine Ausführungsform bevorzugt, bei der die Schraubenfeder das Betätigungselement umgibt und sich mit seinem einen Ende am Gehäuse des Linearpotentiometers abstützt und mit seinem anderen Ende an einer Kopfplatte

am freien Ende des Betätigungselementes. Auch bei dieser Ausgestaltung erfolgt wieder eine solche Justierung des Linearpotentiometers, daß sich bei unbelasteter Meßsonde — genauer gesagt bei in Z-Richtung unbelasteter Meßsonde — am Ausgang des Potentiometers 34, das Positionssignal NULL ergibt.

Bezüglich des beim Ausführungsbeispiel verwendeten Linearpotentiometers zur Messung der Z-Auslenkung ist ferner anzumerken, daß anstelle dieses Potentiometers auch andere lineare Wegaufnehmer verwendet werden können, wie z. B. ein induktiver Wegaufnehmer oder ein Differentialtransformator.

#### Patentansprüche

1. Abtastvorrichtung zum berührenden Abtasten einer konturierten Oberfläche, insbesondere einer dreidimensionalen Freiformfläche, mittels einer stabförmigen Meßsonde, deren freies, im Betrieb der abzutastenden Oberfläche zugewandtes Ende in drei zueinander senkrechten Koordinaten X, Y und z beweglich ist, die in Z-Richtung mittels eines Linearlagers linear beweglich geführt ist, die in X- und Y-Richtung beweglich gehalten ist und deren Bewegungen über Wandler in Positionssignale für eine Auswerteinrichtung umsetzbar sind, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Meßsonde (18) an ihrem, dem freien Ende (18a) gegenüberliegenden Ende mittels einer Biegefeder (20) in Form eines einseitig eingespannten Rundstabs aus federelastischem Material derart beweglich mit dem Linearlager (16) verbunden ist, daß sie im unbelasteten Zustand durch Rückstellkräfte in einer Lage gehalten wird, in der ihre Längsachse in Richtung der Z-Achse verläuft, und daß sie bei einem Abtastvorgang senkrecht zu ihrer in Z-Richtung verlaufenden Längsachse in X- und Y-Richtung auslenkbar ist.
2. Abtastvorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Biegefeder (20) an einem Träger (14) befestigt ist, welcher mittels eines Linearlagers (16) längs einer feststehenden Schiene (12) in Z-Richtung verfahrbar ist.
3. Abtastvorrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Wandler (34, 50, 52) für die Erzeugung der Positionssignale für die X-, die Y- und die Z-Richtung an dem Träger (14) befestigt sind.
4. Abtastvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Wandler für die Erzeugung der Positionssignale für die X- und die Y-Richtung als berührungslos arbeitende X-, Y-Wandler (50, 52) ausgebildet sind.
5. Abtastvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß einerseits die Meßsonde (18) im Bereich der X-, Y-Wandler (50, 52) und andererseits die X-, Y-Wandler (50, 52) derart ausgebildet sind, daß die von den X-, Y-Wandlern erzeugten Positionssignale ( $U_a$ ) jeweils linear mit der Position der Meßsonde (18) in X-Richtung und in Y-Richtung verknüpft sind.
6. Abtastvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die X-, Y-Wandler (50, 52) als nach dem Wirbelstromverfahren arbeitende Wandler ausgebildet sind und daß die Meßsonde (18), zumindest im Bereich der Wandler (50, 52), aus elektrisch leitfähigem, nicht magnetisierbarem Material besteht.
7. Abtastvorrichtung nach einem der Ansprüche 1

bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die X-, Y-Wandler als induktive, berührungslos arbeitende, ein Magnetfeld erzeugende Annäherungswandler ausgebildet sind und daß die Meßsonde (18) zumindest im Bereich der Wandler ein die von den Wandlern erzeugten Magnetfelder beeinflussendes Material aufweist.

8. Abtastvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die X-, Y-Wandler (50, 52) zueinander senkrechte, der Meßsonde (18) zugewandten Sensorflächen aufweisen und daß die Meßsonde (18) im Bereich der Sensorfläche zu diesen parallele, zueinander senkrechte Außenfläche aufweist.

9. Abtastvorrichtung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Meßsonde (18) im Bereich der X-, Y-Wandler einen rechteckigen Querschnitt und paarweise parallel zueinander verlaufende Außenflächen aufweist.

10. Abtastvorrichtung nach Anspruch 8 oder 9, dadurch gekennzeichnet, daß der X-Wandler und der Y-Wandler jeweils zwei Meßeinheiten (40, 42, 40, 42'; 40, 44, 40, 44') aufweisen, die einander und den zugeordneten Außenflächen der Meßsonde (18) paarweise gegenüberliegen.

11. Abtastvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Meßsonde (18) aus Messing besteht.

12. Abtastvorrichtung nach einem der Ansprüche 2 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß der Träger (14) mittels einer Hubvorrichtung (22) in Z-Richtung in eine Ruheposition anhebbar und in eine Arbeitsposition absenkbar ist.

13. Abtastvorrichtung nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Hubvorrichtung (22) einen Spindelantrieb (24, 26, 28, 30) umfaßt.

14. Abtastvorrichtung nach Anspruch 12 oder 13, dadurch gekennzeichnet, daß die Hubvorrichtung (22) lösbar mit dem Träger (14) gekoppelt und für einen Abtastvorgang derart von dem Träger (14) trennbar ist, daß dieser in eine bezüglich der Z-Achse definierte Nullstellung absenkbar ist.

15. Abtastvorrichtung nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß die Nullstellung des Trägers (14) durch einen Anschlag (32) definiert ist.

16. Abtastvorrichtung nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß der Anschlag durch ein federndes Druckstück (32) gebildet ist.

17. Abtastvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß der Z-Wandler einen Linearwandler (34) umfaßt.

18. Abtastvorrichtung nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, daß als Linearwandler ein Linearpotentiometer (34) vorgesehen ist.

19. Abtastvorrichtung nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, daß das Linearpotentiometer (34) an dem Träger (14) befestigt ist und ein Betätigungselement aufweist, welches in der Nullstellung des Trägers lösbar an einem feststehenden Bauteil festlegbar ist.

20. Abtastvorrichtung nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, daß das Betätigungselement des Linearpotentiometers (34) magnetisch festlegbar ist.

21. Abtastvorrichtung nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, daß das Linearpotentiometer (34) an dem Träger (14) befestigt ist und ein Betätigungselement aufweist, welches mittels einer zwi-

schen dem Gehäuse des Linearpotentiometers (34) und dem Betätigungselement desselben eingespannten Feder in einer definierten Ausgangslage gehalten ist.

22. Abtastvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß der X-Wandler und der Y-Wandler als kapazitive, berührungslos arbeitende Wandler ausgebildet sind.

23. Abtastvorrichtung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß der X-Wandler und/oder der Y-Wandler zwei in Serie geschaltete Spulen (42, 42'; 44, 44') aufweisen, die mit einer hochfrequenten Spannung gespeist werden.

24. Abtastvorrichtung nach Anspruch 23, dadurch gekennzeichnet, daß die Frequenz der Speisespannung für die Spulen (42, 42'; 44, 44') in einem Frequenzbereich von etwa 20 bis 100 kHz liegt.

25. Abtastvorrichtung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß der X-Wandler und/oder der Y-Wandler zwei in Serie geschaltete Spulen (42, 42'; 44, 44') aufweisen, die mittels eines Taktgenerators (64) mit einer Impulsfolge ansteuerbar sind, und daß zur Erzeugung einer kontinuierlichen, analogen Ausgangsspannung eine Abtast/Halte-Schaltung (68) vorgesehen ist, welche durch eine von dem Taktgenerator (64) erzeugte Impulsfolge steuerbar ist, deren Einzelimpulse derart mit den den Spulen (42, 42'; 44, 44') zugeführten Impulsen synchronisiert sind, daß sie für die Dauer jedes dieser Impulse ein Zeitfenster für den Abtastvorgang definieren.

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

35

40

45

50

55

60

65





Fig.2

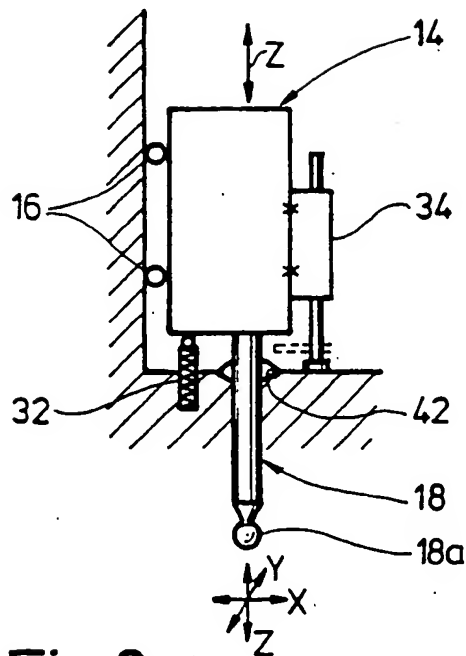


Fig.5

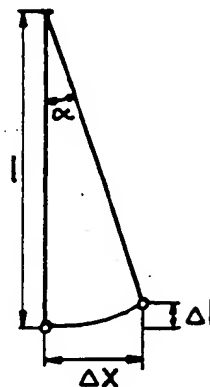


Fig.3

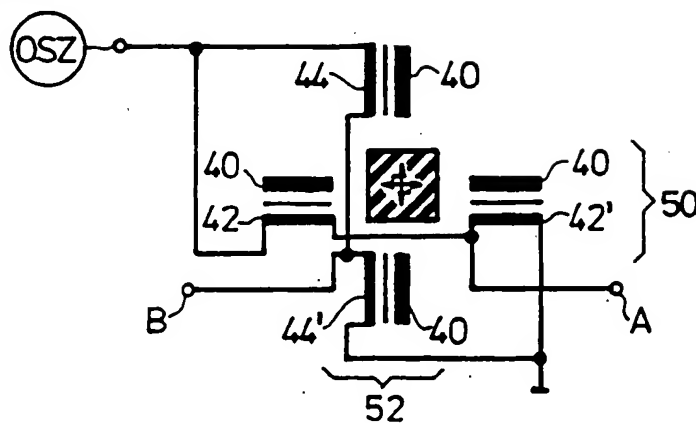


Fig.4

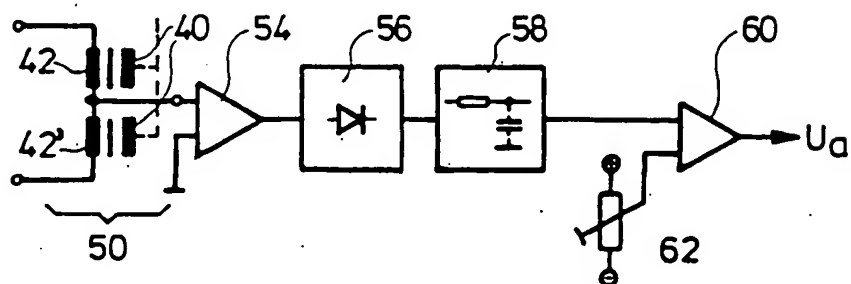


Fig.6a

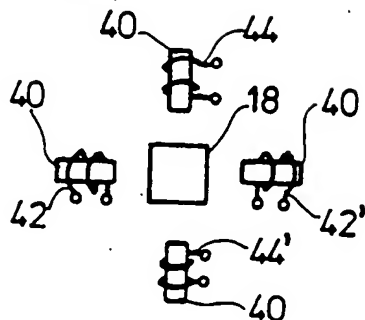


Fig.6b

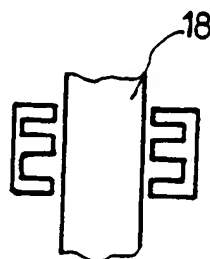


Fig.6c

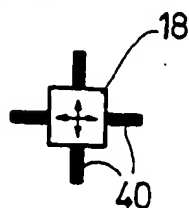


Fig.6d

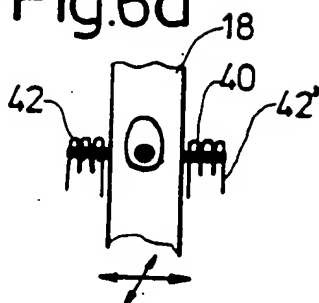


Fig.6e

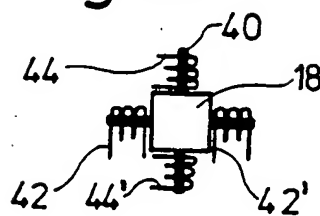


Fig.6f

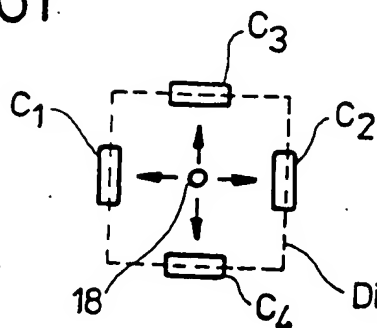
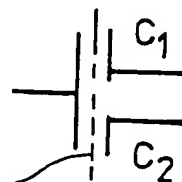


Fig.6g



Dielektrikum

Fig.7

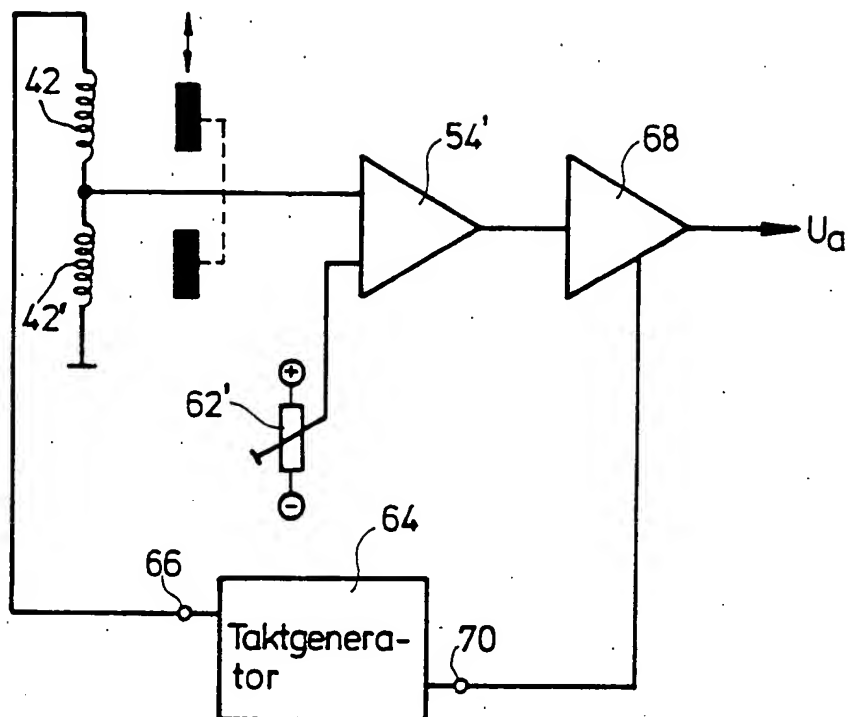


Fig.8

